

(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

(11) N° de publication : **2 583 069**
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)
(21) N° d'enregistrement national : **85 08924**
(51) Int Cl⁴ : C 25 C 3/16.

(12)

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

(22) Date de dépôt : 5 juin 1985.

(30) Priorité :

(43) Date de la mise à disposition du public de la
demande : BOPI « Brevets » n° 50 du 12 décembre 1986.

(60) Références à d'autres documents nationaux appa-
rentés :

(71) Demandeur(s) : ALUMINIUM PECHINEY. — FR.

(72) Inventeur(s) : Joseph Chaffy, Bernard Langon et Michel
Leroy.

(73) Titulaire(s) :

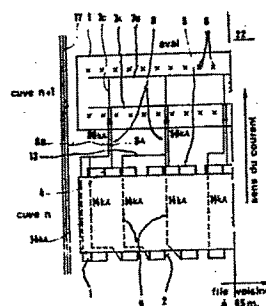
(74) Mandataire(s) : Claude Pascaud.

(54) Dispositif de connexion entre cuves d'électrolyse à très haute intensité, pour la production d'aluminium, comportant
un circuit d'alimentation et un circuit indépendant de correction du champ magnétique.

(57) L'invention concerne un dispositif de connexion électrique
entre deux cuves successives d'une série destinée à la produc-
tion d'aluminium par électrolyse d'alumine dissoute dans de la
cryolithe fondue, selon le procédé Hall-Héroult, sous une inten-
sité au moins égale à 150 kA et pouvant atteindre 500 à
600 kA.

Selon l'invention, le dispositif d'alimentation électrique des
cuves comporte, outre le circuit 8 d'alimentation en courant
d'électrolyse, un circuit distinct 17 de correction et d'équili-
brage des champs magnétiques, formé de conducteurs sensi-
blement parallèles à l'axe de la série, parcourus par un courant
continu, de même sens que le courant d'électrolyse et qui
crée, dans les cuves, un champ magnétique correcteur vertical,
dirigé vers le bas près des têtes gauches des cuves et dirigé
vers le haut près des têtes droites des cuves.

Le courant total J2 parcourant le circuit de correction
magnétique est au plus égal au courant d'électrolyse J1, et, de
préférence, compris entre 5 et 80 % de J1.



FR 2 583 069 - A1

D

DISPOSITIF DE CONNEXION ENTRE CUVES D'ELECTROLYSE A TRES HAUTE
INTENSITE POUR LA PRODUCTION D'ALUMINIUM, COMPORTANT UN CIRCUIT
D'ALIMENTATION ET UN CIRCUIT INDEPENDANT DE CORRECTION DU
CHAMP MAGNETIQUE

5

1. OBJET DE L'INVENTION

L'invention concerne un dispositif de connexion électrique entre les cuves
10 successives d'une série pour la production d'aluminium par électrolyse d'alumine
dissoute dans de la cryolithe fondue, selon le procédé Hall-Héroult et comportant
Un circuit indépendant pour la correction des effets indésirables dus aux champs
magnétiques. Elle s'applique à des séries de cuves disposées en travers par
rapport à l'axe de la série, fonctionnant sous une intensité supérieure à 150 000
15 ampères, pouvant atteindre 500 à 600 kA, sans que cette valeur constitue une
limite du champ d'application de l'invention.

2. DOMAINE TECHNIQUE DE L'INVENTION

20 Pour une bonne compréhension de l'invention, on rappelle tout d'abord que la
production industrielle de l'aluminium s'opère par électrolyse ignée dans des
cuves branchées électriquement en série, d'une solution d'alumine dans de la
cryolithe fondue portée à une température de l'ordre de 950 à 1000°C par
l'effet Joule du courant traversant la cuve.

25

Chaque cuve est constituée par un caisson métallique parallélépipédique,
calorifugé, supportant une cathode constituée par des blocs de carbone dans
lesquels sont scellées des barres d'acier, dites barres cathodiques, qui servent à
évacuer le courant des cathodes vers les anodes de la cuve suivante. Le
30 système anodique, également en carbone, est fixé sur une barre anodique dite
"croisillon" ou "cadre anodique" réglable en hauteur, reliée électriquement aux
barres cathodiques de la cuve précédente.

Entre le système anodique et la cathode se trouve le bain d'électrolyse,
35 c'est-à-dire la solution d'alumine dans de la cryolithe fondue à 930-960°C.

L'alumine produit se dépose sur la cathode; une couche d'aluminium liquide est
maintenue en permanence au fond du creuset cathodique.

Le creuset étant rectangulaire, le cadre anodique supportant les anodes est, en général, parallèle à ses grands côtés, alors que les barres cathodiques sont parallèles à ses petits côtés, dits têtes de cuve.

- 5 Les cuves sont rangées selon des files et disposées en long ou, le plus souvent à l'heure actuelle, en travers, suivant que leur grand côté ou leur petit côté est parallèle à l'axe de la file. Les cuves sont branchées électriquement en série, les extrémités de la série étant reliées aux sorties positives et négatives d'une sous-station électrique de redressement et de régulation. Chaque série de cuves
10 comprend un certain nombre de files branchées en série, le nombre de files étant, de préférence, pair afin de minimiser les longueurs des conducteurs.

Le courant électrique, qui parcourt les différents éléments conducteurs: anode, électrolyte, métal liquide, cathodes, conducteurs de liaison, crée des champs
15 magnétiques importants. Ces champs induisent, dans le bain d'électrolyse et dans le métal liquide contenu dans le creuset des forces dites de Laplace qui, par la déformation de la surface supérieure du métal fondu et les mouvements qu'elles engendrent, sont nuisibles à la bonne marche de la cuve. Le dessin de la cuve et de ses conducteurs de liaison est étudié pour que les effets des champs
20 magnétiques créés par les différentes parties de la cuve et les conducteurs de liaison se compensent.

De nombreux brevets ont été déposés concernant la disposition des conducteurs de liaison d'une cuve à la suivante. On peut citer, en particulier, notre demande
25 de brevet français FR-A-2 505 368 qui décrit des conducteurs de liaison pour des cuves fonctionnant sous 280 kA.

EXPOSE DU PROBLEME

- 30 Des dispositions sont choisies par l'homme de l'art pour annuler plus ou moins parfaitement la composante verticale des champs magnétiques dans le métal liquide, et pour symétriser et réduire au maximum les circulations du métal liquide et du bain liquide dans le creuset.
- 35 L'annulation plus ou moins parfaite de la composante verticale du champ magnétique est nécessaire pour les raisons suivantes:

Le passage du courant électrique dans les conducteurs d'alimentation et dans les parties conductrices de la cuve produit des champs magnétiques qui provoquent des mouvements dans le bain et le métal liquides et une déformation de l'interface métal-bain d'électrolyse. Ces mouvements de métal qui agitent le bain électrolytique placé sous les anodes peuvent, lorsqu'ils sont trop importants, court-circuiter cette lame de bain par un contact du métal liquide avec l'anode. Le rendement de l'électrolyse se dégrade fortement et les consommations énergiques augmentent.

- 10 L'homme de l'art sait que la forme de l'interface métal-bain et les mouvements du métal liquide sont étroitement dépendants des valeurs de la composante verticale du champ magnétique et de la symétrisation plus ou moins parfaite des composantes horizontales; diminuer au maximum les valeurs de la composante verticale du champ permet de réduire la hauteur entre les points les plus hauts et les points les plus bas de la nappe de métal, et permet de réduire les forces magnétiques créant des perturbations de cette nappe.

La dissymétrie éventuelle, par rapport au grand axe de la cuve, des circulations du métal présente les inconvénients suivants:

- 20 1. L'érosion mécanique par le métal du talus de cryolithe figée étant directement reliée à la vitesse de circulation du métal, une dissymétrie de ces vitesses de circulation entraînerait une érosion différente des talus sur les deux grands côtés de la cuve.
- 25 2. Les échanges thermiques entre le métal et le talus de cryolithe figée sont directement reliés aux vitesses de circulation de métal: une dissymétrie de ces vitesses de circulation entraînerait des échanges thermiques différents avec les deux grands côtés de la cuve et aurait pour conséquence, gênante pour
- 30 l'exploitation des cuves, une différence de forme des talus d'un grand côté à l'autre.

Plus les intensités des cuves augmentent, plus leurs dimensions augmentent et plus le dessin des conducteurs de liaison se complique, car la sensibilité d'une nappe de métal aux champs magnétiques s'accroît avec la dimension de la nappe. Généralement, une partie plus ou moins grande du courant issu de l'amont d'une cuve est amené à la cuve suivante après avoir contourné une tête de

cuve, ce qui rallonge d'autant plus le circuit électrique que la cuve a des dimensions importantes.

5 D'autre part, l'effet des champs magnétiques créés par la file voisine ne peut plus être négligé et une dissymétrie éventuelle de construction ou des boucles de compensation doivent être ajoutées au circuit pour effectuer la compensation de ces effets de "file voisine".

10 On s'aperçoit alors qu'au-delà de 350 000 ampères, il devient difficile de concevoir des cuves économiquement comparables aux cuves d'intensité comprise entre 250 000 et 300 000 ampères, car les gains sur les investissements attendus de l'effet de dimension des cuves sont totalement effacés par le surcoût dû au circuit de conducteurs qui s'allonge et se complexifie beaucoup plus vite que l'augmentation de taille des cuves.

15 En outre, pour pouvoir disposer des conducteurs de forme complexe et d'encombrement importants entre les cuves, on doit écarter celles-ci, ce qui allonge encore le circuit électrique, et augmente la surface du bâtiment à construire pour abriter ces cuves. On pourrait songer à simplifier le circuit en
20 admettant une certaine instabilité de la nappe de métal: cela doit être exclu car les pertes sur le rendement de courant de l'électrolyse (qui habituellement se situe entre 93 et 97%) gonfleraient les coûts d'exploitation de telle manière que le métal produit ne serait pas économiquement compétitif.

25 Le problème se pose donc de concevoir des circuits de connexion entre cuves à très haute intensité, pouvant atteindre 500 et 600 kA par exemple, remplissant les trois conditions suivantes :

- coût minimal de construction et de mise en place des circuits,
- 30 - encombrement minimal, en surface au sol, des séries des cuves utilisant ces circuits,
- stabilité magnétique maximale, donc rendement Faraday maximal, compte tenu des effets de file voisine.

EXPOSE DE L'ART ANTERIEUR

On a déjà décrit, antérieurement des dispositifs de compensation d'effets magnétiques par des conducteurs disposés le long de la série ou des séries, et
5 parcourus par un courant qui est une faible fraction du courant d'électrolyse, c'est le cas des brevets US 3 616 317 (assigné à ALCAN), et US 4 169 034 (= FR 2 425 482), assigné à ALUMINIUM PECHINEY. Mais, dans l'un et l'autre cas, il s'agit exclusivement de compenser l'effet de file voisine, c'est-à-dire un champ essentiellement vertical et d'un signe constant sur toute la surface de la
10 cuve, comme cela apparaît sans ambiguïté dans la description et les revendications de ces deux brevets, et le procédé s'applique à des séries dont les conducteurs de liaison de cuve à cuve ont été dessinés de façon à assurer un fonctionnement normal, sans file voisine, la correction de file voisine n'intervenant que de façon quasi-marginale. L'intensité maximale du courant dans
15 les conducteurs de compensation ne dépasse par 25% du J total de la série dans US 3 616 317, et 17% du J total dans US 4 196 034.

Du fait de l'objectif assigné à ces circuits de compensation, on voit qu'ils sont conçus pour créer un champ magnétique compensateur qui garde un signe
20 constant sur toute la cuve, ce signe étant opposé à celui du champ vertical créé par la file de cuves voisine.

EXPOSE DE L'INVENTION

25 L'objet de l'invention est un dispositif de connexion, c'est-à-dire une disposition de conducteurs permettant de faire fonctionner des cuves d'électrolyse, disposées en travers, sous plus de 150 000 ampères et jusqu'à 500 à 600 000 ampères, avec un rendement de courant de 93 à 97 %, tout en réduisant fortement le poids des conducteurs de liaison entre cuves et l'écartement entre
30 cuves.

C'est aussi un dispositif permettant une standardisation des circuits et une simplification de leur dessin pour abaisser leurs coûts de fabrication.

35 C'est enfin un dispositif permettant de réaliser la compensation des champs magnétiques créés par les files voisines, sans surcoût important.

Dans la description qui suit, nous distinguerons donc deux types de conducteurs:

- les conducteurs de cuve à cuve, comparables aux circuits électriques selon l'art antérieur et assurant l'alimentation électrique de l'électrolyse,
- 5 - les conducteurs indépendants d'équilibrage des champs magnétiques.

Nous appellerons côté intérieur le côté de la cuve d'électrolyse dirigé vers l'axe de symétrie des files de cuves. Le côté extérieur sera par conséquent l'autre côté de la cuve.

10

Nous appellerons "tête droite de la cuve" le petit côté de la cuve situé à la droite d'un observateur placé dans l'axe de la file de cuves et regardant dans le sens du courant parcourant cette file de cuves.

- 15 Nous appellerons "tête gauche de la cuve" l'autre petit côté de la cuve.

Lorsque l'on conçoit une nouvelle cuve d'électrolyse à très haute intensité, au-delà de 350 kA, on peut être tenté d'appliquer les mêmes méthodes que pour les cuves de 200 à 300 kA existant à l'heure actuelle, c'est-à-dire de dessiner
20 les conducteurs de liaison de cuve à cuve de façon que les champs magnétiques induits par l'ensemble des circuits de chaque cuve se compensent mutuellement de sorte que le champ résultant B ait, en moyenne, sur l'ensemble de la cuve, les caractéristiques suivantes :

- 25 - moyenne quadratique de la composante verticale $B_z < 10^{-3}$ Tesla.
- composante horizontale B_x : antisymétrique par rapport à l'axe transversal de la cuve (petit axe).
 - composante horizontale B_y : en moyenne, la plus proche possible de l'antisymétrie par rapport à l'axe longitudinal de la cuve (grand axe).

30

(On rappelle qu'il y a "antisymétrie" lorsque les deux valeurs considérées sont de même valeur absolue mais de signe opposé).

La présente invention est basée sur une double idée, entièrement différente des
35 conceptions de l'art antérieur, qui consiste à séparer les deux fonctions "transport du courant d'électrolyse" que l'on essaiera de rendre aussi simple et

aussi directe que possible, et "équilibre des champs magnétiques", que l'on assurera par des conducteurs indépendants.

Pour réaliser la première fonction :

5

a) on dessine tout d'abord les conducteurs de liaison de cuve à cuve, transportant le courant d'électrolyse, en choisissant un trajet aussi proche que possible du trajet direct de façon à minimiser le poids d'aluminium immobilisé, et la distance entre cuves (donc la surface totale occupée au sol par la ou les séries), sans trop se préoccuper des effets magnétiques.

10

b) On les conçoit comme un ou plusieurs ensembles de modules sensiblement identiques, qui relieront chaque groupe de collecteurs cathodiques d'une cuve de rang n dans la file à chacune des montées anodiques de la cuve de rang $n+1$ dans la file, ce qui se traduit par une standardisation de la construction et de la première mise en place des conducteurs.

15

Cette nouvelle conception de conducteurs à tracé direct se traduit, en règle générale, pour les cuves à très haute intensité, par une carte des champs magnétiques très défavorable et même tout à fait incompatible avec un fonctionnement normal des cuves d'électrolyse. En effet, le champ vertical créé par les conducteurs de cuve à cuve à tracé sensiblement direct est fortement positif en moyenne sur la demi-cuve gauche, et fortement négatif en moyenne sur la demi-cuve droite (voir figure 2). C'est là qu'intervient la seconde idée inventive qui consiste à corriger cette carte défavorable des champs magnétiques par un ensemble de conducteurs d'équilibre indépendants, disposés le long de la ou des files et de chaque côté de la file concernée, et qui présentent les caractéristiques suivantes :

25

a) Le courant d'équilibre y circule dans un sens identique à celui du courant d'électrolyse dans la file des cuves, de façon à créer un champ correcteur fortement négatif sur la demi-cuve gauche et fortement positif sur la demi-cuve droite.

30

b) Leur dessin est très simplifié, puisqu'ils ne comprennent pratiquement (sauf aux changements de direction aux extrémités des files) que des longueurs droites de barres d'aluminium.

35

- c) Leur consommation énergétique est très faible, car, si la somme des intensités J2 passant dans les conducteurs indépendants, qui est au plus égale à J1, et qui peut se situer entre 5 et 80 % et, de préférence, entre 20 et 70 % de l'intensité J1 traversant la série, est relativement importante, la chute de tension reste faible, et elle est largement compensée par le gain de tension résultant du tracé direct des conducteurs de liaison.
- d) La somme des poids des circuits de conducteurs conduisant le courant d'électrolyse d'une part et le courant de correction des champs d'autre part, est généralement très inférieure, de 5 à 15 % et même jusqu'à 25 % (pour des J proches de 500 kA), au poids nécessaire lorsqu'on utilise un circuit unique, autocompensé magnétiquement. Cependant, même pour des cuves plus petites, pour lesquelles par exemple J est de l'ordre de 180 à 280 kA, de tels circuits indépendants sont encore intéressants, car si dans ce cas l'on gagne peu ou pas sur le poids total de conducteurs de cuve à cuve, la conception modulaire et simplifiée des circuits conduit encore à un gain sur les coûts de fabrication et de mise en place, et sur la largeur de l'espace intercuvés - donc sur la surface du bâtiment nécessaire pour abriter les cuves.
- e) Ces conducteurs indépendants de correction permettent à la fois de rétablir une configuration favorable du champ magnétique de chaque cuve, et aussi de compenser les effets de files voisines, par une dissymétrie de l'intensité passant dans les conducteurs de correction intérieurs et extérieurs, et ceci sans surcoût important tant en investissement qu'en exploitation.

De façon plus précise, l'objet de la présente invention est donc un dispositif de connexion électrique entre deux cuves successives d'une série destinée à la production d'aluminium par électrolyse d'alumine dissoute dans de la cryolithe fondue, selon le procédé Hall-Héroult, sous une intensité au moins égale à 150 kA et pouvant atteindre 500 à 600 kA, chaque cuve étant constituée par un caisson métallique parallélépipédique calorifugé, dont le grand axe est perpendiculaire à l'axe de la série, et dont les deux extrémités sont appelées "têtes", ce caisson supportant une cathode formée par la juxtaposition de blocs carbonés dans lesquels sont scellées des barres métalliques dont les extrémités sortent du caisson, en général sur les deux grands côtés, amont et aval (par

rapport au sens du courant dans la série), chaque cuve comportant en outre un système anodique formé par au moins une poutre rigide horizontale supportant au moins une et le plus souvent deux barres horizontales conductrices, dites "cadre anodique", sur lequel sont assujetties les tiges de suspension des anodes, ce

5 circuit de connexion comprenant, en particulier, un circuit de transport du courant d'électrolyse entre deux cuves successives, constitué par des collecteurs cathodiques, reliés d'une part aux sorties cathodiques de la cuve de rang n et d'autre part à des conducteurs de liaison qui rejoignent, par des montées le

10 cadre anodique de la cuve de rang $n+1$ dans la série; selon l'invention, ce dispositif de connexion comporte en outre un circuit indépendant de correction et d'équilibrage des champs magnétiques, formé de conducteurs sensiblement parallèles à l'axe de la série, parcouru par un courant continu de même sens que le courant d'électrolyse, et qui crée, dans les cuves, un champ magnétique correcteur vertical, dirigé vers le bas près des têtes gauches et dirigé vers le

15 haut près des têtes droites, les termes "gauche" et "droite" étant définis par référence à un observateur placé sur l'axe de la file de cuves et regardant dans le sens d'écoulement du courant d'électrolyse.

Le courant total J_2 parcourant le circuit de correction magnétique est au plus

20 égal au courant d'électrolyse J_1 .

Le terme de circuits "indépendants" veut signifier que les circuits suivent des trajets distincts et remplissent des fonctions distinctes, ce qui n'exclut pas qu'ils soient éventuellement alimentés par la même source de courant continu, ou

25 par deux branches d'une même source.

Dans le circuit d'alimentation en courant d'électrolyse :

- 30 - les sorties cathodiques amont de la cuve de rang n sont reliées à des collecteurs cathodiques amont qui rejoignent, par des conducteurs dont la plus grande partie passe sous ladite cuve n , par un trajet proche du trajet direct, une première section des montées qui alimentent le cadre anodique de la cuve de rang $n+1$ dans la série;
- 35 - les sorties cathodiques aval de la cuve de rang n sont reliées à des collecteurs cathodiques aval directement connectés à une seconde section des montées correspondantes;

- le circuit de correction et d'équilibrage des champs magnétiques comporte deux ensembles de conducteurs, de correction de champ, indépendants des conducteurs de liaison, disposés de part et d'autre de la file de cuves parallèlement à l'axe de la file et alimentés par un courant total J2 circulant dans le même sens que le courant J1 qui alimente la série, sous une intensité totale J2 au plus égale J1, et, généralement comprise entre 5 et 80 % de J1 et de préférence entre 20 et 70 %.

DESCRIPTION DES FIGURES

10

Les figures 1 à 9 illustrent la mise en oeuvre de l'invention :

- La figure 1 rappelle la nomenclature utilisée dans la description. L'axe XOX est l'axe de la file; il indique aussi le sens de circulation du courant, et le petit axe de la série, YOY étant le grand axe. L'axe Oz représente l'axe vertical.
- La figure 2 représente les composantes verticales du champ magnétique sur une cuve avant et après correction selon l'invention.
- La figure 3 représente, de façon très schématique, le tracé général des conducteurs d'alimentation et des conducteurs de correction.
- La figure 4 représente, de façon schématique, un module de connexion amont-aval.
- La figure 5 représente, de façon schématique, la disposition des conducteurs de correction dans une série de cuve comportant deux files parallèles A et B.
- La figure 6 représente, en vue isométrique, un module de connexion amont-aval entre deux cuves successives d'une file. Seuls les conducteurs d'alimentation ont été dessinés. Les sorties cathodiques ont été schématisées.
- Les figures 7 et 8 schématisent la disposition réelle des conducteurs de liaison et de correction dans une série à grande puissance (p.ex. 480 kA). La figure 7 a été simplifiée (par réduction de la cuve à 9 anodes) car elle a simplement pour but de montrer la position des conducteurs (9)(sous la cuve) et la position des conducteurs (17)(22)(correction du champ). La figure 8 fait apparaître en plus un module de liaison entre deux cuves.
- La figure 9 illustre la mise en oeuvre de l'invention sur une série de cuves à 280 kA.

Sur la figure 3, on a limité la représentation de 2 cuves successives dans une file au contour (1) du caisson métallique.

Les sorties cathodiques, telles que (2), dessinées en traits épaissis, sont reliées à des collecteurs cathodiques amont tels que (3), de même, les sorties cathodiques aval, telles que (4) sont reliées à des collecteurs cathodiques aval tels que (5).

Sur une cuve de ce type; prévue, par exemple, pour une intensité de 480 kA, il y a pour l'ensemble de la cuve 32 sorties cathodiques amont et 32 sorties cathodiques aval, et deux lignes parallèles de 32 anodes, supportées par des tiges, symbolisées par les croix (6) sur la demi-cuve aval. Ces tiges cathodiques sont assujetties au cadre anodique, constitué de deux éléments 7A et 7B reliés par des barres équipotentielles 7C.

La liaison électrique entre les collecteurs cathodiques de la cuve de rang n dans la série et le cadre anodique de la cuve de rang $n+1$ est assurée par des montées (8), ici au nombre de 8.

Chaque montée (8) est double; elle comporte une branche (8A) directement reliée à un collecteur cathodique aval (5) et une branche (8B), reliée à un collecteur cathodique amont (3) par au moins une barre de liaison (9) passant sous la cuve, en suivant un trajet proche du trajet le plus direct. Il faut souligner que, dans la technique de l'électrolyse à très haute intensité, la notion de "trajet direct" ne s'identifie pas nécessairement à la ligne droite géométrique, en raison de la dimension des conducteurs (une barre d'aluminium transportant 100 kA a généralement une section de l'ordre de 3000 centimètres-carrés et peut même atteindre 6000 centimètres-carrés lorsqu'il s'agit d'un circuit "long" transportant le courant depuis les sorties cathodiques amont d'une cuve (n) jusqu'au cadre anodique de la cuve suivante ($n+1$)) qui implique des rayons de courbures importants, en raison également de l'encombrement de l'espace sous les cuves (masses métalliques, nervures de renfort du caisson, piliers d'appui des caissons) qui peut amener à séparer une barre trop encombrante en deux ou plusieurs barres parallèles et des impératifs d'isolation électrique, la tension entre les conducteurs et les masses métalliques pouvant atteindre plusieurs centaines de volts. On considérera comme "trajet direct" le plus court trajet qui concilie les exigences énumérées ci-dessus.

Dans le cas présent, il y a deux barres de liaison (9) pour alimenter chaque montée 8A, chaque barre (9) étant reliée à deux sorties cathodiques amont (2) par un collecteur (3). Outre l'obtention d'un poids minimal des conducteurs, pour une chute de tension donnée, ce montage offre l'avantage de se prêter à une construction modulaire.

Si l'on isole (fig.6) un de ces modules (14), on constate qu'il est formé par l'ensemble de :

- 10 - 4 sorties cathodiques aval (4) de la cuve n (schématisées, pour ne pas alourdir le dessin),
 - le collecteur cathodique aval (5) et la montée correspondante (8A), vers le cadre anodique (7A) de la cuve (n+1).
 - le conducteur de liaison (13) relié, d'une part à deux barres (9) passant sous la
- 15 cuve n et d'autre part à l'autre demi-montée (8B).
 - deux éléments de collecteur cathodique amont (3)(3') de la cuve n+1, reliés chacun à deux sorties cathodiques amont (2) de la cuve (n+1), schématisées, et à la barre (9) passant sous la cuve (n+1).
 - éventuellement les cales de court-circuitage (12) pour la mise provisoire hors
- 20 circuit d'une cuve.

Les barres de liaison (9) passant sous le caisson (1) ne font pas partie du module. Leur position peut en effet varier d'un module à l'autre de façon à ajuster la carte des champs magnétiques à la configuration la plus favorable. On notera, en outre, que les modules (14) situés sur une demi-cuve sont généralement symétriques, plutôt qu'identiques, par rapport aux modules situés sur l'autre demi-cuve (par rapport à l'axe Ox).

Cette disposition des conducteurs, telle qu'on vient de la décrire, donne, pour les intensités considérées, une carte du champ magnétique, tout à fait inacceptable et incompatible avec un fonctionnement stable de la cuve. A titre d'exemple, on peut indiquer que pour une cuve de 480 kA réalisée selon ce schéma, on obtient un B_z max pouvant dépasser $120 \cdot 10^{-4}$ Tesla (120 gauss).

La correction et l'équilibrage du champ magnétique sont confiés à un circuit d'équilibrage indépendant, schématisé sur les figures 3 et 5, où les flèches indiquent le sens du courant dans les files de cuves proprement dites, et dans le

circuit d'équilibrage. La figure 2 montre la répartition des composantes verticales du champ magnétique sur le grand axe de la cuve, avant et après correction par le circuit d'équilibrage, objet de l'invention; les valeurs de B_y sans correction sont telles que tout fonctionnement normal des cuves serait impossible. Précisons que ces valeurs sont prises au niveau de l'interface bain d'électrolyse-métal et dans le plan vertical contenant le plus grand axe de la cuve.

Sur la figure 5, on a pris le cas d'une série composée de deux files parallèles A et B, comportant un nombre de cuves qui peut être quelconque (une centaine par exemple). Ces cuves sont symbolisées par un simple rectangle (11). Les axes parallèles X_1, X_1 et X_2, X_2 sont situés à une distance qui peut être de l'ordre de la centaine de mètres.

Les liaisons entre chaque cuve sont réalisées selon les schémas des figures 3, 4 et 6.

Selon l'invention, on dispose le long des cuves, de part et d'autre de chaque série, un ensemble de conducteurs de correction indépendant, distinct des conducteurs de liaison entre les cuves, situé sensiblement au niveau de la nappe d'aluminium liquide, et à faible distance des parois latérales externes des cuves (de l'ordre de 0,5 à 2 mètres par exemple), chaque conducteur ou faisceau de conducteurs groupés, étant parcouru par un courant de même sens que le sens du courant dans la série.

Le premier conducteur de correction (16) comporte une première section (17) sur le côté extérieur de la série A, parcouru par un courant de même sens que le courant qui alimente cette série A, puis une section de raccordement (18) qui contourne la tête de la série A et l'espace libre entre les séries A et B, puis une section (19), sur le côté extérieur de la série B, le courant, dans cette section (19) étant de même sens que celui qui alimente la série.

Le second conducteur de correction (21) comporte une première branche (22), qui longe le côté intérieur de la série A, puis une section de raccordement (23) qui contourne l'espace libre entre les séries A et B, et une section (24) qui longe le côté intérieur de la série B, le courant dans les sections 17 et 22 d'une part et 19 et 24 d'autre part, étant de même sens que celui du courant qui alimente la file correspondante.

Le réglage de l'intensité totale J2 dans les conducteurs de correction (16) et (21) s'effectue de façon à rétablir une carte des champs magnétiques assurant le fonctionnement normal, la stabilité et le rendement optimal de l'ensemble des cuves de la série. Cette intensité est au plus égale à J1 et se situe
5 normalement entre au moins 5% et jusqu'à 80% de l'intensité totale J1 alimentant la série proprement dite, et de préférence entre 20 et 70% de J1.

Par exemple, pour une série alimentée sous J1 = 480 kA, le courant de correction pourra être fixé par exemple entre 100 et 150 kA, dans chaque
10 branche extérieure et intérieure du circuit de correction, la valeur de J2 égale à deux fois 135 kA étant généralement proche de l'optimal pour une série isolée, sans tenir compte de l'effet de file voisine, le conducteur de correction étant disposé à 1,5 mètre de la paroi externe des caissons métalliques des cuves. Il s'agit là d'un ordre de grandeur, et la valeur optimale exacte dépend
15 de la position par rapport au caisson et au niveau de l'interface bain + métal, des conducteurs indépendants de correction.

Dans le cas de files multiples (au moins 2) l'homme de l'art sait qu'il est nécessaire de tenir compte de l'"effet de file voisine", c'est-à-dire du champ
20 magnétique induit, sur une file, par la ou les files voisines, et dont les effets magnétiques s'ajoutent à ceux qui sont créés, sur chaque cuve, par le courant qui la traverse.

La présente invention permet également de compenser l'effet de file voisine.
25 Pour cela, on répartit le courant dans chacun des ensembles de conducteurs de correction intérieurs et extérieurs (16) et (21) d'une façon différente de celle qui assurait l'équilibrage magnétique en l'absence de file voisine : c'est ainsi que, pour deux séries A et B, dont les axes sont distants de 130 mètres, l'intensité J sera réduite de 135 à 120 kA dans le conducteur de correction
30 extérieur (16) et augmentée de 135 à 150 kA dans le conducteur de correction (21), l'intensité totale J2 restant égale à 270 kA, soit 56% de J1. Si l'entr'axe des files est réduit à 65 mètres, l'intensité sera abaissée à 105 kA dans (16) et augmentée à 180 kA dans (21), l'intensité totale J2 n'étant ainsi augmentée que de 15 kA, pour s'établir à 285 kA, soit 60% de J1

Il y a là un moyen de rapprocher les différentes files ou séries construites sur un même site, sans nuire à leur stabilité globale, et la réduction de surface occupée au sol qui en résulte, présente de nombreux avantages : réduction de l'investissement (achat des terrains, surface des bâtiments à construire), longueur
5 des conducteurs et canalisation de tous types, et réduction des trajets de déplacement du personnel d'exploitation, des transports de matières premières et de produits finis, etc...

Enfin, on doit noter que la compensation de l'effet de file voisine par
10 dissymétrie de l'intensité dans les conducteurs de correction, telle qu'elle vient d'être décrite, pourrait aussi être obtenue ou affinée par d'autres moyens connus, en particulier par déplacement des barres de liaison (9) amont-aval qui passent sous la cuve, et par modification de l'intensité dans ces différentes barres. Ce dernier procédé peut être utilisé comme seul moyen de compensation
15 de l'effet de file voisine ou en complément du procédé de l'invention, par dissymétrie de l'intensité dans les conducteurs de correction.

EXEMPLE DE REALISATION

20 . Exemple 1 :

On a appliqué l'invention à une petite série expérimentale de cuves d'électrolyse, disposées en travers par rapport à l'axe de la série, et fonctionnant sous 480 kA. La disposition des conducteurs de liaison entre cuves
25 est conforme à celle des figures 3 et 4, chacune des montées (8) (=8A+8B) transportant 60 kA.

Les sorties cathodiques amont (2) et aval (4) sont au nombre de 32+32. Sur le grand côté amont, deux sorties cathodiques (2) adjacentes sont reliées par un
30 collecteur (3), connecté à une barre (9) passant sous la cuve. Il y a donc, en tout, 16 barres (9) passant sous la cuve, transportant chacune 15 kA. Chaque groupe de deux barres (9) adjacentes rejoint, à l'amont, un conducteur de liaison (13) qui est lui-même connecté à la demi-montée 8A.

Sur le grand côté aval, quatre sorties cathodiques (4) sont reliées à un
35 collecteur cathodique aval (5), qui collecte donc 30 kA, et alimente la demi-montée correspondante (8B).

L'écartement entre barres (9) passant sous la cuve peut être modulé selon qu'elles correspondent à des sorties cathodiques, situées au centre de la cuve ou près des têtes, c'est-à-dire par rapport à leur distance du petit axe de la cuve de façon à affiner la carte du champ magnétique, mais tout en respectant le "trajet direct" tel qu'il a été défini par ailleurs. En règle générale, la distance entre les barres (9) situées du côté des têtes de la cuve est inférieure à la distance entre les barres (9) situées au centre de la cuve. Ces barres (9) peuvent également être équidistantes.

10 En l'absence de tout conducteur de correction (tout fonctionnement normal des cuves étant alors impossible), on a estimé par des méthodes de calculs très fiables, les valeurs des composantes du champ magnétique :

15 B_z maximum : 69.10^{-4} tesla
 B_z (moyenne quadratique) : 35.10^{-4} Tesla
 B_y : écart moyen amont/aval : $2,6.10^{-4}$ Tesla

(N.B.- l'écart à l'antisymétrie des valeurs de B_y entre amont et aval étant défini comme $|\overline{B_y}|_{\text{amont}} - |\overline{B_y}|_{\text{aval}}$).

20

Puis la série étant en fonctionnement et les conducteurs de correction intérieur et extérieur étant alimentés chacun sous une intensité de 135 kA, ces conducteurs étant disposés à environ 1,5 mètre de la paroi externe des caissons métalliques des cuves et le sens du courant dans les deux conducteurs étant le même que celui du courant d'électrolyse alimentant la série, (soit un courant total de correction $J_2 = 270 \text{ kA} = 56 \% J_1$), on a mesuré :

30 B_z maximum : 14.10^{-4} Tesla
 B_z (moyenne quadratique) : 5.10^{-4} Tesla
 B_y : écart moyen amont/aval : 1.10^{-3} Tesla.

Enfin, on a simulé, par un faisceau de conducteurs disposés parallèlement à l'axe OX, une file voisine, en considérant que les axes de la série réelle et de la série simulée étaient éloignés de 65 mètres.

35

Pour compenser les effets de cette file voisine simulée, on a alimenté le conducteur de correction (16), placé du côté opposé à la file voisine simulée,

sous 105 kA et le conducteur de correction (21) placé du côté de la file voisine simulée, sous 180 kA, soit un courant total de correction $J_2 = 285$ kA (60 % de J_1).

- 5 Les mesures des composantes du champ magnétique ont donné les résultats suivants :

Bz maximum : 23.10^{-4} Tesla

Bz (moyenne quadratique) : $5,3.10^{-4}$ Tesla

- 10 By : écart moyen amont/aval : $6,9.10^{-4}$ Tesla.

La série expérimentale, avec ou sans file voisine simulée et compensée, a montré une parfaite stabilité de la nappe d'aluminium liquide, une absence de toute érosion dissymétrique des talus et un rendement Faraday compris entre 93
15 et 97 %.

Enfin, par rapport à une solution classique, sans conducteurs de correction, on peut estimer le gain de poids sur l'ensemble des conducteurs à environ 14000 kg d'aluminium par cuve, pour cette série ayant une intensité d'électrolyse de 480
20 kA. A ceci se rajoute un gain de 350 mm sur l'entre-axe de cuve à cuve, ce qui représente une économie de 84 mètres de bâtiment pour une série complète de 240 cuves.

La mise en oeuvre de l'invention ouvre donc la voie à une nouvelle génération
25 de cuves d'électrolyse fonctionnant sous une intensité pouvant atteindre et largement dépasser les 500 kA, avec une stabilité remarquable et un rendement Faraday au moins égal à celui des générations précédentes à 250-300 kA.

. Exemple 2 :

30

Pour montrer que l'invention n'est pas limitée aux cuves d'électrolyse à très grande puissance, dans la gamme des 500 kA, on a également appliqué l'invention à des cuves fonctionnant sous 280 kA. Comme on l'a déjà expliqué dans l'exposé de l'invention, la mise en oeuvre du circuit de correction indépendant et de la
35 conception modulaire des conducteurs de liaison de cuve à cuve conduit encore à un gain sensible sur les coûts de fabrication, de mise en place et de surface occupée par les bâtiments.

La figure 9 représente deux demi-cuves successives dans une série fonctionnant sous 280 kA, avec 5 montées modulaires (8) transportant chacune 56 kA de la cuve n vers le cadre anodique de la cuve n+1 dans la série.

5 Chaque conducteur de correction indépendant (17)(27) est alimenté sous 90 kA en l'absence de file voisine, ce courant circulant dans le même sens que celui qui alimente la série proprement dite pour effectuer l'électrolyse, soit un courant total de correction J2 égal à 180 kA, donc 64 % de J1.

10 On a relevé les valeurs suivantes (en Tesla), en fonctionnement normal sous 280 kA, les deux conducteurs de compensation étant alimentés chacun sous 90 kA :

Bz maximum : 18.10^{-4}

Bz en moyenne quadratique : $4,6.10^{-4}$

15 Ecart à l'antisymétrie By : 2.10^{-4}

On a ensuite simulé, de façon connue, une file voisine située à 65 mètres de la file considérée, et on a compensé la perturbation magnétique due à cette file en augmentant le courant de compensation dans le conducteur indépendant intérieur (27) situé du côté de la file voisine, de 90 à 120 kA, et en réduisant le courant de 90 à 75 kA dans le conducteur indépendant extérieur (17) situé du côté opposé à la file voisine (fig. 5). Le courant total de correction est donc porté à J2 = 195 kA soit 70 % de J1.

25 On a relevé les valeurs suivantes en Tesla :

Bz maxi : 22.10^{-4}

Bz moyenne quadratique : $4,9.10^{-4}$

Ecart à l'antisymétrie By : 2.10^{-4}

30

Les cuves ainsi alimentées ont montré un fonctionnement très stable et un rendement en courant (rendement Faraday) situé entre 93 et 95 %.

Dans le cas de cuves à 280 kA, le gain de poids sur les conducteurs n'est pas significatif, en revanche, le gain de 270 mm sur l'entr'axe de cuve à cuve

2583069

19

représente une économie d'environ 64 mètres de longueur du bâtiment pour une série complète de 240 cuves.

REVENDECATIONS

1. Dispositif de connexion électrique entre deux cuves successives d'une série destinée à la production d'aluminium par électrolyse d'alumine dissoute dans de la cryolithe fondue, selon le procédé Hall-Héroult, sous une intensité au moins égale à 150 kA et pouvant atteindre 500 à 600 kA, chaque cuve étant
- 5 constituée par un caisson métallique parallélépipédique calorifugé, dont le grand axe est perpendiculaire à l'axe de la série, et dont les deux extrémités sont appelées "tête", ce caisson supportant une cathode formée par la juxtaposition de blocs carbonés dans lesquels sont scellées des barres métalliques dont les extrémités sortent du caisson, généralement sur ses deux grands côtés amont et
- 10 aval (par rapport au sens du courant dans la série), chaque cuve comportant en outre un système anodique formé par au moins une poutre rigide horizontale supportant au moins une et le plus souvent deux barres horizontales conductrices, dites "cadre anodique", sur lesquelles sont assujetties les tiges de suspension des anodes, ce circuit de connexion comprenant, en particulier, un
- 15 circuit de transport du courant d'électrolyse entre deux cuves successives, constitué par des collecteurs cathodiques, reliés d'une part aux sorties cathodiques de la cuve de rang n et d'autre part à des conducteurs de liaison qui rejoignent, par des montées le cadre anodique de la cuve de rang n+1 dans la série, caractérisé en ce que ce dispositif de connexion comporte en plus du
- 20 circuit de transport du courant d'électrolyse, un circuit distinct de correction et d'équilibrage des champs magnétiques, formé de conducteurs sensiblement parallèles à l'axe de la série, parcourus par un courant continu, de même sens que le courant d'électrolyse, et qui crée, dans les cuves, un champ magnétique correcteur vertical, dirigé vers le bas près des têtes gauches et dirigé vers le
- 25 haut près des têtes droites.
2. Dispositif de connexion électrique, selon revendication 1, caractérisé en ce que le courant total J2 parcourant le circuit de correction magnétique est au plus égal au courant d'électrolyse J1.
- 30
3. Dispositif de connexion selon revendication 1, caractérisé en ce que le courant J2 est compris entre 5 et 80 % de J1.

4. Dispositif de connexion, selon revendication 1, caractérisé en ce que le couant J2 est compris entre 20 et 70 % de J1.

5. Dispositif de connexion, selon revendication 1, caractérisé en ce que, dans le circuit d'alimentation en courant d'électrolyse :

- les sorties cathodiques amont (2) de la cuve de rang n sont reliées à des collecteurs cathodiques amont (3), qui rejoignent directement, par des conducteurs (9) dont la plus grande partie passe sous ladite cuve n, une première section (demi-montée)(8A) des montées (8) qui alimentent le bus anodique (7) de la cuve de rang n+1 dans la série;
- les sorties cathodiques aval (4) de la cuve de rang n sont reliées à des collecteurs cathodiques aval (5) directement connectés à une seconde section (demi montée) (8B) des montées (8).

15

6. Dispositif de connexion, selon revendication 1, caractérisé en ce que, dans le circuit d'alimentation :

- sur le grand côté amont : deux sorties cathodiques (2) adjacentes sont reliées par un collecteur (3), connecté à une barre (9) passant sous la cuve; chaque groupe de deux barres (9) adjacentes rejoint, à l'amont un conducteur de liaison (13), lui-même connecté à une demi-montée 8A;
- sur le grand côté aval : quatre sorties cathodiques (3) adjacentes sont reliées à un collecteur cathodique aval (5) qui est lui-même connecté à l'autre demi-montée correspondante 8B.

25

7. Dispositif de connexion, selon revendications 5 ou 6, caractérisé en ce que les barres de liaison (9) disposées sous le caisson sont équidistantes.

30 8. Dispositif de connexion selon revendications 5 ou 6, caractérisé en ce que la distance entre les barres de liaison (9) est modulée en fonction de leur position par rapport au petit axe de la cuve.

35 9. Dispositif de connexion selon revendications 5 ou 6, caractérisé en ce que la distance entre les barres de liaison (9) situées du côté des têtes de la cuve est inférieure à la distance entre les barres de liaison situées au centre de la cuve.

10. Dispositif de connexion, selon revendication 1, caractérisé en ce que le circuit de correction et d'équilibrage des champs magnétiques est constitué par deux ensembles de conducteurs de correction (17)(22), indépendants des conducteurs d'alimentation, disposés de part et d'autre de la file de cuves, 5 parallèlement à l'axe de la file, et alimentés par un courant total J2 circulant dans le même sens que le courant J1 qui alimente la file, et sous une intensité au plus égale à J1.

11. Dispositif de connexion, selon revendication 1, caractérisé en ce que, dans 10 le cas où la série comporte au moins deux files de cuves disposées parallèlement, le conducteur ou l'ensemble de conducteurs de compensation disposé du côté de la file voisine est parcouru par un courant d'une intensité supérieure à celle qui parcourt le conducteur de compensation disposé sur le côté opposé à la file voisine.

15

12. Dispositif de connexion, selon revendication 1, caractérisé en ce que les conducteurs de compensation sont disposés à faible distance du caisson métallique des cuves, et sensiblement à la hauteur de la nappe métallique d'aluminium fondu.

20

13. Dispositif de connexion, selon revendication 1, caractérisé en ce que la partie du circuit indépendant d'alimentation assurant la liaison entre les sorties cathodiques (2)(4) de la cuve de rang n au cadre anodique (7) de la cuve de rang (n+1) dans la file, est constituée sous forme de modules (14) sensiblement 25 identiques entre eux, correspondant chacun à une montée (8).

14. Dispositif de connexion selon revendication 13, caractérisé en ce que chaque module (14) est constitué par :

- 30 - 4 sorties cathodiques aval (4) de la cuve n,
- le collecteur cathodique aval (5) et la demi-montée (8A) vers le cadre anodique (7A) de la cuve n+1,
- un conducteur de liaison (13) relié d'une part à deux barres (9) passant sous la cuve n et d'autre part à l'autre demi-montée (8B),
35 - deux éléments de collecteur cathodique amont (3)(3') reliés chacun à deux sorties cathodiques amont de la cuve n+1.

FIG.1

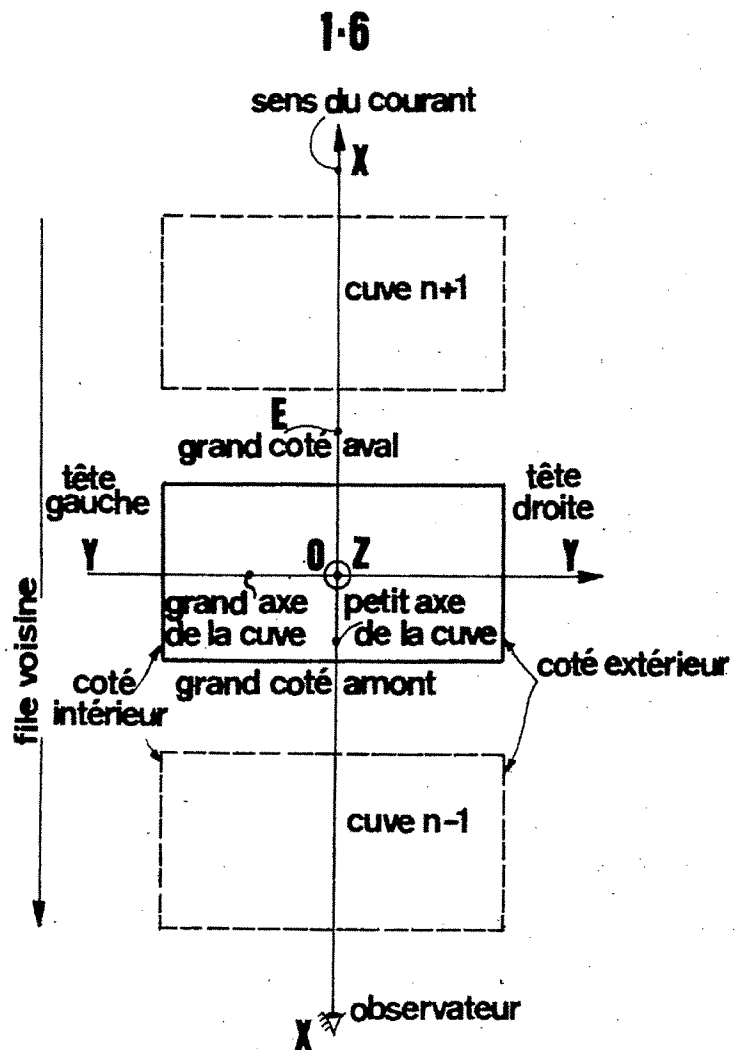
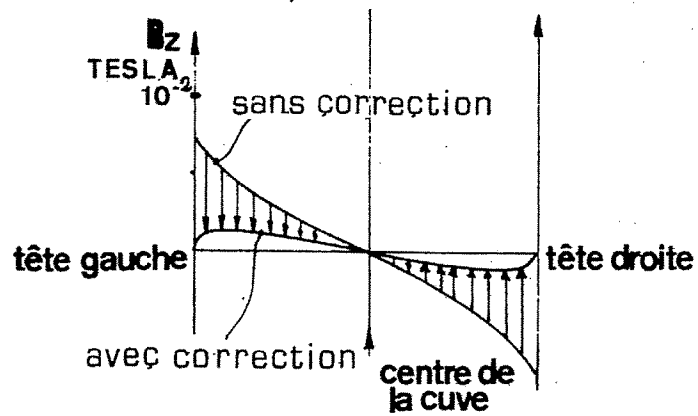
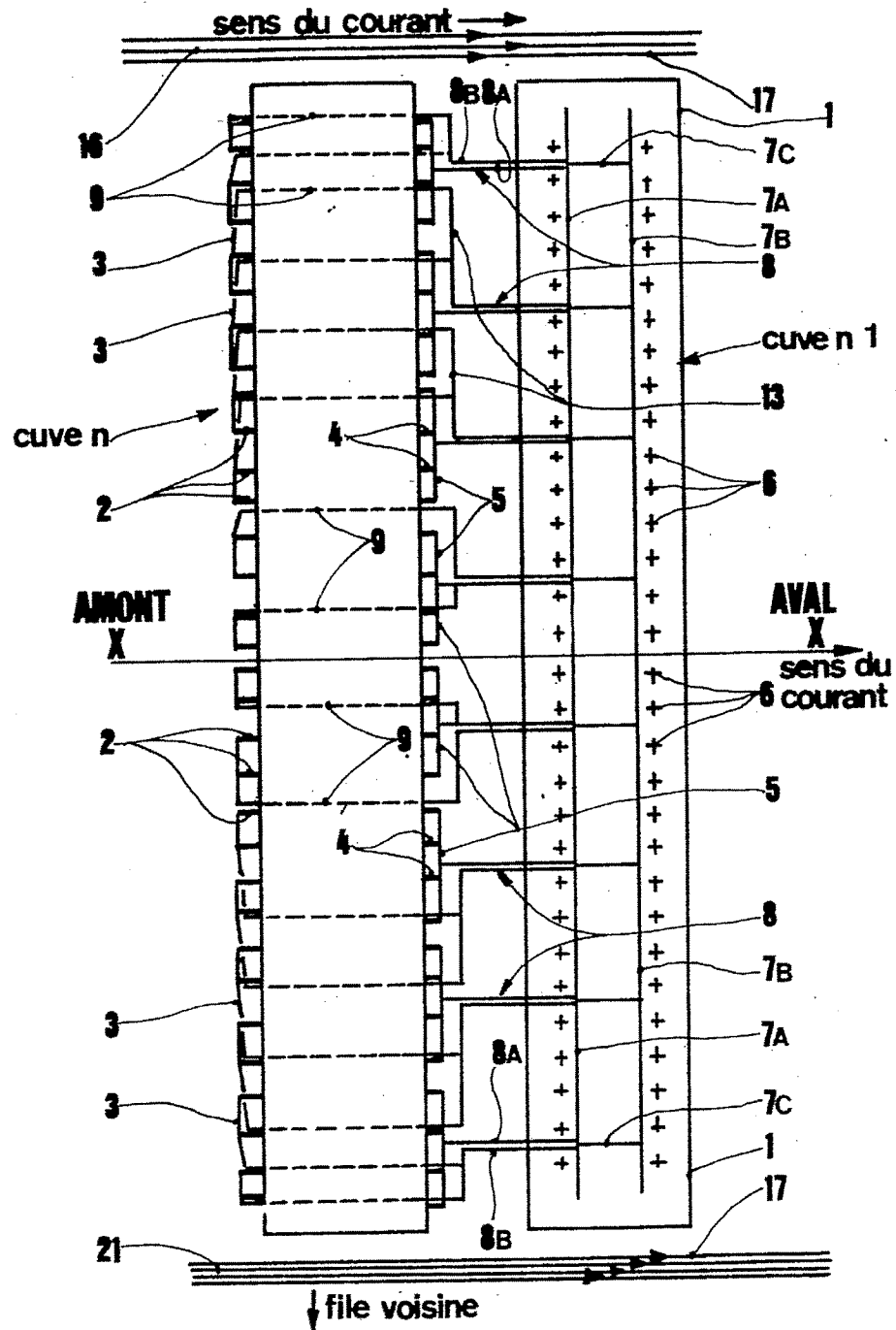


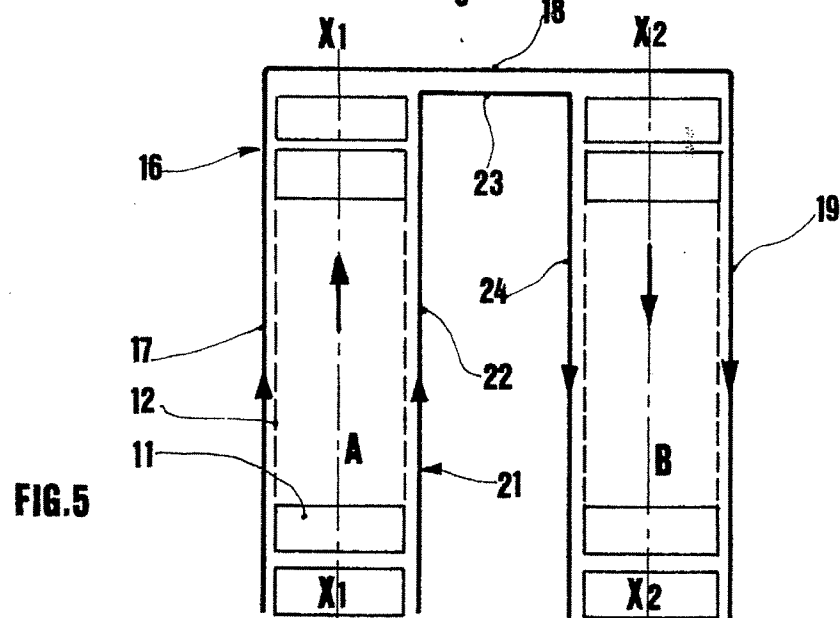
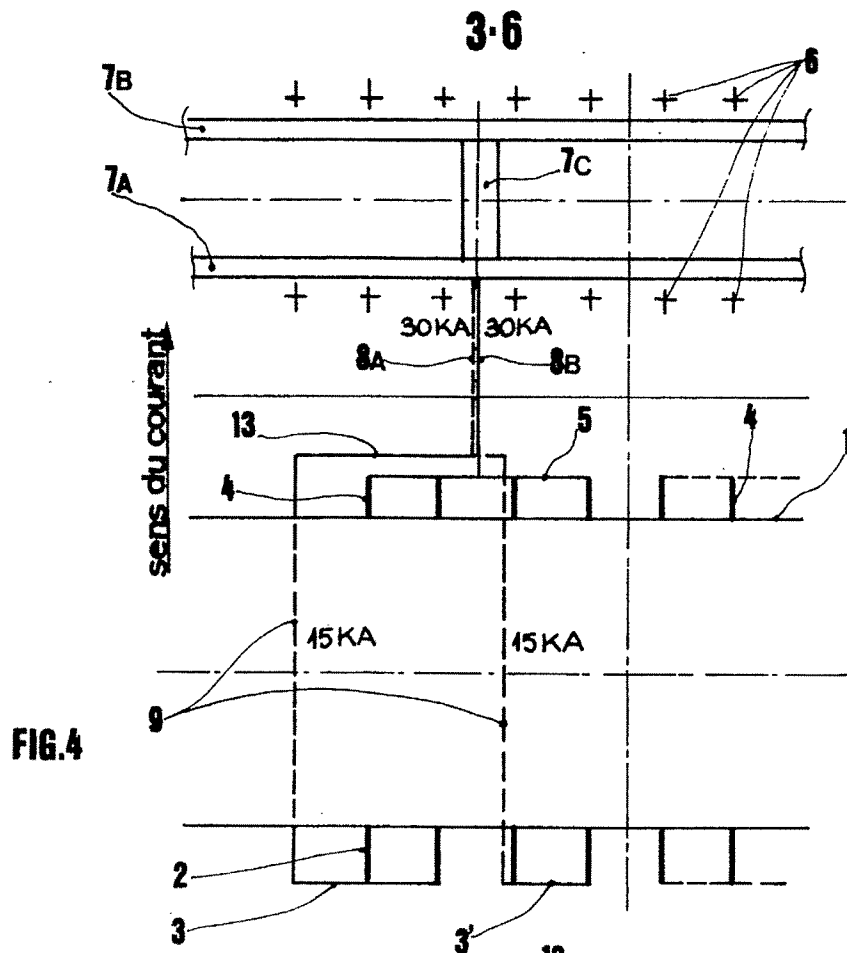
FIG.2



2-6

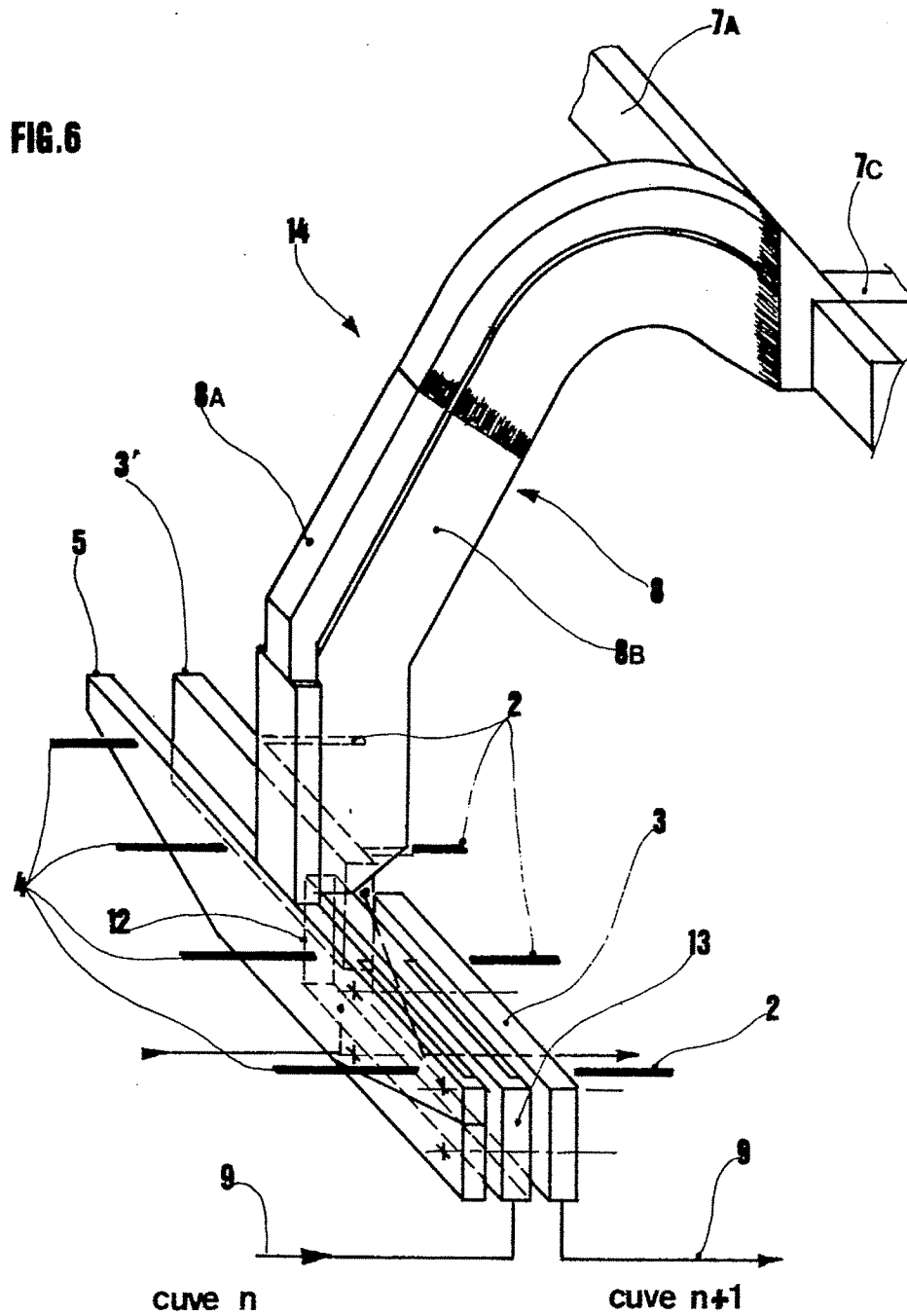
FIG. 3



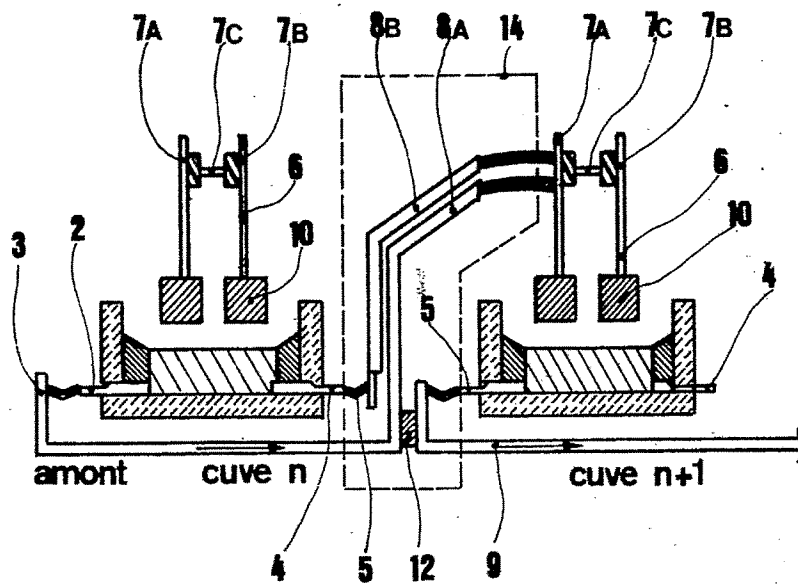
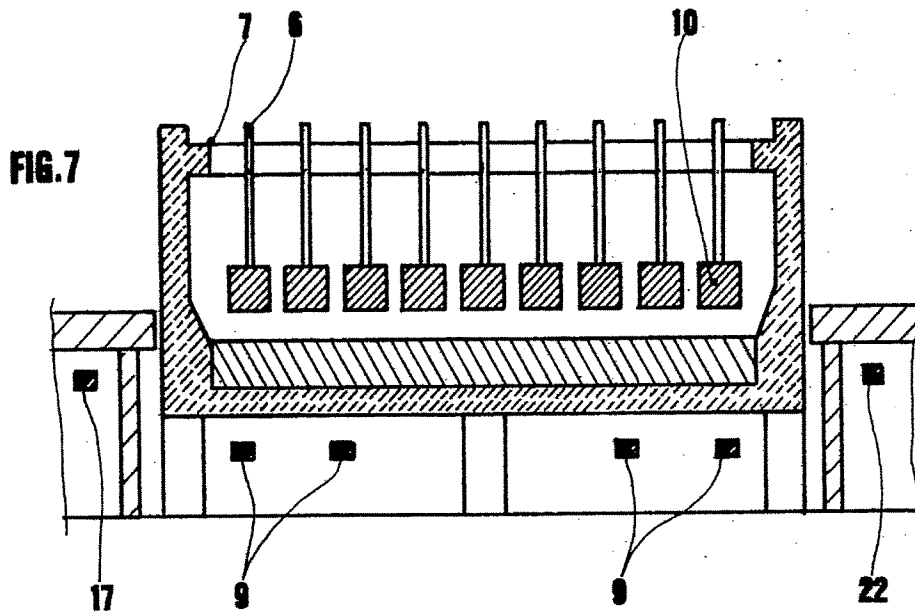


4.6

FIG. 6



5.6

**FIG. 8**

6-6

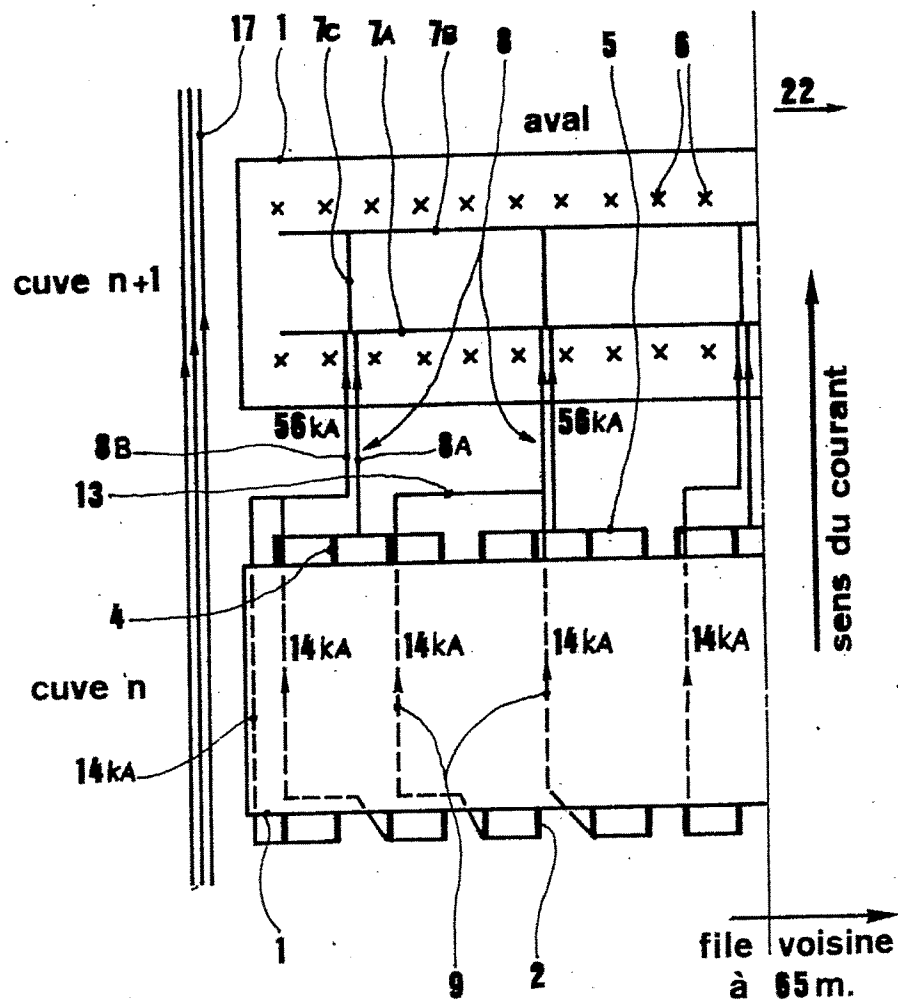


FIG. 9